

К вопросу интерпретации РЛИ земной поверхности

А.А.Калинкевич¹, Б.Г.Кутуза¹, В.М.Масюк¹, В.А.Плющев²

¹Институт Радиотехники и Электроники им. В.А. Котельникова РАН, 103907, Москва, ул. Моховая, 11. корп.7. тел.: +7(495) 629-33-65, Факс: +7(495) 629-36-78, E-mail:

kalinkevich@newmail.ru

²ОАО Концерн радиостроения "Вега" 121170, Москва, Кутузовский проспект, 34

Представленные ниже материалы касаются вопросов сложности и неоднозначности интерпретации радиолокационных изображений земных покровов, получаемых с помощью самолетных и космических РСА. В докладе приводятся примеры, когда выводы по интерпретации РЛИ вызывают сомнения в их справедливости.

Presented below material concern to questions of difficulties and ambiguities to interpreting the radar images of earth covers obtained by means of the space and air born SAR. In the presentation there are examples when the conclusions concerning interpretation cause some doubts in their fairness.

Введение

Радиолокационные станции бокового обзора с синтезированной апертурой (РСА), работающие в X, C, S, L, VHF-диапазонами являются одним из основных средств дистанционного зондирования земной поверхности как со спутников, так с борта самолета. Круг использования радиолокационных изображений широк: а) это относится как к изучению возможностей оценки параметров волнения, стратификации (включая морские течения) и солености морской поверхности, получение данных об отражательной способности хвойных, лиственных и смешанных лесов и возможности их классификации и определения биомассы леса, изучение возможностей получения данных о гидрологическом режиме почвенного покрова, оценки характеристик поверхности, находящейся под снежным и ледяным покровами, выявления и изучения крупно- и среднemasштабных поверхностных загрязнений антропогенного происхождения, изучение топографии земных покровов и т.д., б) так и к применения этого радиолокационного оборудования в прикладных задачах. Отражательные характеристики земных поверхностей зависят от их диэлектрической проницаемости, шероховатости, геометрии отражательных элементов и прочих параметров, т.е. являются многопараметрическими. В результате, обратные задачи по дистанционному зондированию Земной поверхности являются некорректными, и для решения их требуется дополнительная априорная информация. Модель исследуемого объекта должна быть как можно ближе к его физической природе. Однако это приводит как к значительному усложнению модели, так и к трудностям решения обратной задачи. Материалы, представленные в докладе, связаны с вопросами интерпретации радиолокационных изображений (РЛИ). Для рассмотрения результатов интерпретации особенностей в РЛИ использовались данные, которые были получены при проведении летных экспериментов при помощи многочастотного поляриметрического радиолокационного комплекса с синтезированной апертурой (РСА), космические данные, полученных с помощью японского радиолокатора PALSAR-1, установленного на борту японского спутника ALOS; а также некоторые результаты исследований, опубликованные российскими и зарубежными исследователями.

Как правило, исследователи ориентируются на решение конкретной задачи, на пример, на изучение оценки биомассы лесного покрова, проведения калибровки

изображений РСА и т.д. При этом внимание к возможным другим особенностям РЛИ уменьшается, делается это часто непредумышленно с учетом того, что эти особенности проявляются часто слабо. Только тогда, когда особенности в обратном отражении проявляются чрезвычайно сильно, они попадают в «поле» тщательного рассмотрения. Для выяснения особенностей в отражательных свойствах поверхностных покровов требуется проведения большого объема наземных исследований с привлечением литературных материалов, которые, на первый взгляд, не касаются темы дистанционного зондирования, а выходят за рамки данного научного направления, т.е. прямые методы дистанционного зондирования никак нельзя отделять от физиологических процессах в растительных объектах. Следует заметить, что даже и при таком подходе часто причины наблюдаемых аномалий в отражательных особенностях остаются до конца невыясненными. В силу того, что исследуемый объект очень сложен, могут быть несколько вариантов объяснения. В результате возможны случаи, когда выводы автором исследования остаются сомнительными или слабо обоснованными. Ниже для иллюстрации приводится ряд примеров, с которыми авторы доклада столкнулись при выполнении работ.

1 Анализ сезонных отражательных свойств хвойных лесов в L-диапазоне

Авторы [1] в течение нескольких лет проводили исследования сезонных отражательных свойств лесных покровов в Московской области, используя результаты японского радиолокатора PALSAR-1. На Рис.1 представлены результаты измерений в течение 2006 -2011 г (см. рис.3), в частности и хвойных лесов

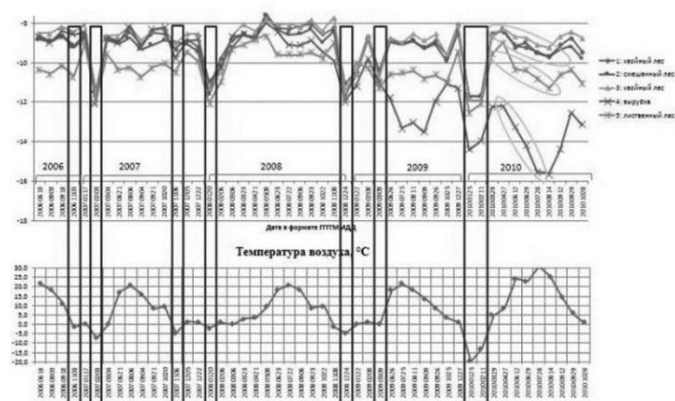


Рис.1. Динамика УЭПР тестовых участков за период наблюдения 2006-2010гг. и температура воздуха в дни съемки

Было замечено, что в зимний холодный период времени УЭПР тестовых участков уменьшается, что подтверждается исследованиями также зарубежными специалистами [2,3]. Авторы объясняют получаемые данные тем, что в зимний период времени хвойные леса имеют наименьшую влажность, так как нет сокодвижения. Однако в работах [4] указывается, что наибольшая влажность (весовая) древесины наблюдается в зимний период времени.

Специалистами [5] проводились исследования водного режима разнообразных древесных пород. Было установлено, что содержание воды широко варьирует в разных частях дерева и зависит от видовой принадлежности, возраста, географического места произрастания и времени года. У некоторых видов древесных растений наблюдаются большие сезонные колебания содержания воды в стволах, однако даже для одних и тех же древесных пород сезонные изменения влажности могут быть различны. В [5] автор

приводит сведения об исследованиях Р. Гиббса, который обнаружил у хвойных деревьев в Восточной Канаде довольно слабые сезонные изменения содержания воды в стволах. Он же приводит данные Р. Гартига и Э. Мюнха, согласно которым в Европе у хвойных деревьев наблюдаются значительные сезонные колебания содержания воды. Анализ возможных причин, объясняющих это, отсутствует. Таким образом, строгой зависимости водного режима от сезона года не установлено, а также отсутствуют данные, связывающие погодные условия с водным режимом деревьев. Это было подтверждено и нашими наземными измерениями [7]. В ходе полевого опыта были взяты пробы древесины стволов, тонких веток и хвои в разные сезоны. Полученные данные приведены на рис.2

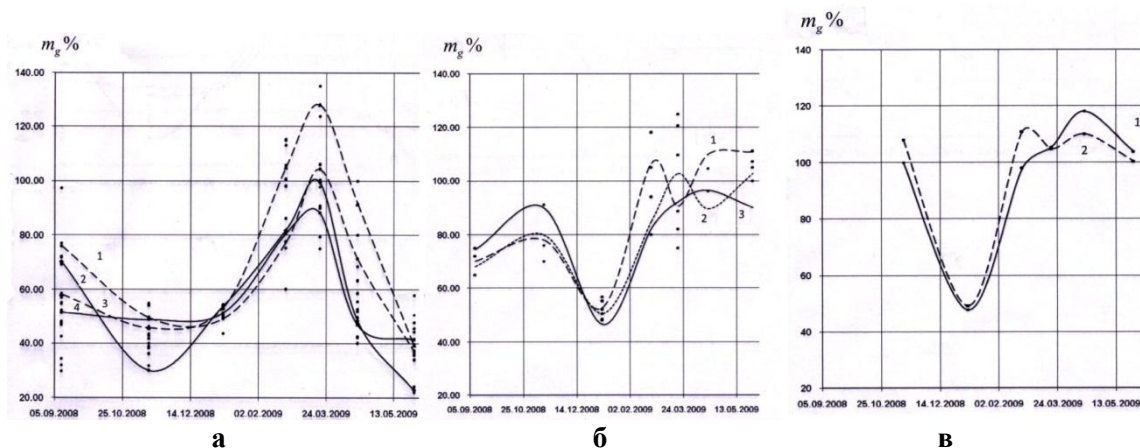


Рис. 2. Зависимости изменения (а) влажности древесины, (б), тонких веток и (в) хвои по месяцам.

Для сравнения приводятся из www.drevesinas.ru диаграмма изменения влажности в стволах растущих деревьев рис.3



Рис. 3. Диаграмма изменения влажности в стволах растущих деревьев: а — сосна; б — ель; в — береза; г — осина; сплошные линии — средняя влажность; пунктир черточками — влажность заболони, или периферической части; пунктир точками — влажность ядра, или центральной части ствола.

Результаты показывают значительное увеличение влажности древесины в холодный период. В стороне остается проблема (она выходит за рамки специалистов по дистанционному зондированию), какие процессы в живом дереве происходят, для

объяснения получаемых результатов. Однако полученные результаты однозначно показывают, что выводы авторов [1] не соответствуют действительности. Механизм изменения отражательной способности хвойных лесов в холодный период времени надо искать в другом.

2. Влияние наклона поверхности на отражательные характеристики лесных покровов в VHF диапазоне длин волн

Хорошо известно, что на РЛИ при переходе от поверхности с малым коэффициентом обратного отражения к местности с большим значением коэффициента обратного отражения (например, при переходе от с/х поля к лесу, дороги к лесопосадке и т.д.) наблюдается область (полоса) сильного обратного рассеивания. Появление такой полосы объясняется эффектом уголкового отражения рис.4(а)

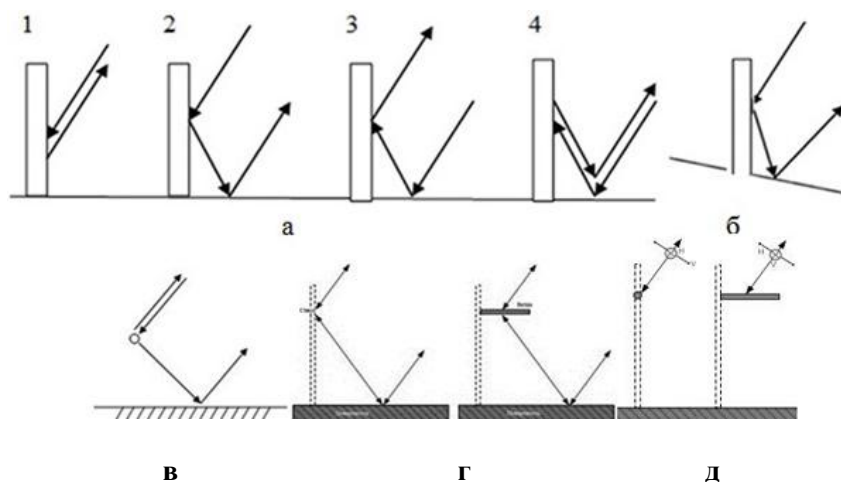


Рис. 4. Компоненты рассеяния

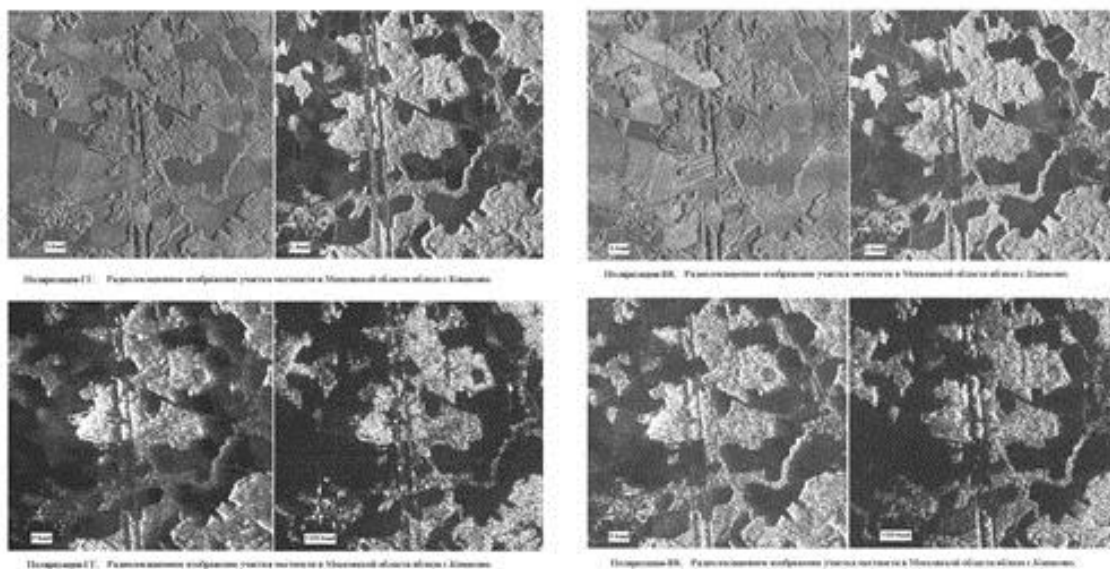


Рис.5. Фрагмент РЛИ (размер $4 \times 4.2\text{км}^2$) на HH- и VV-поляризации для наблюдения эффекта уголкового отражения от лесных участков для разных длин волн и поляризаций

Однако эффект уголкового отражения меняется, если объекта расположен на наклонной поверхности, зависит от того, что это за объект (а, г), зависит от

поляризации излучения (д). Выполненные экспериментальные исследования с помощью многочастотного поляриметрического РСА ИМАРК см. рис.5 показали, что для диапазонов X, L, P данный эффект наблюдается независимо от поляризации, т.к. элементы стволов деревьев (стволы нельзя рассматривать в виде тонких диэлектрических цилиндров) в этих диапазонах длин волн эффективно отражают ЭМИ в зеркальном направлении. Но различие на HH- и VV-поляризациях четко проявляются в VHF диапазоне длин волн (ствол для этого диапазона является тонких диэлектрическим цилиндром, который имеет отражение в зеркальном направлении для VV-поляризации, и слабое для HH-поляризации. Анализ доступных РЛИ, полученных шведскими специалистами, показывает тот же эффект - уголковое отражение на HH поляризации в VHF диапазоне в районах лесных покровов отсутствует [6].

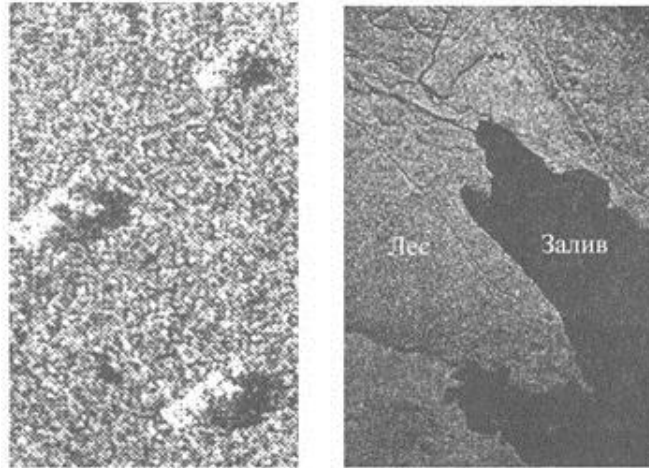


Рис.6. Радиолокационное изображение в VHF на HH поляризации из [6]

Таким образом, основные элементы лесного хвойного покрова, участвующие в обратном отражении на HH- и VV- поляризациях в метровом диапазоне длин волн разные, и, следовательно, основные механизмы отражения от лесного покрова для этих поляризаций должны отличаться. Для VV-поляризации обратное отражение определяется в первую очередь стволами деревьев, для HH-поляризации крупными ветками, которые можно рассматривать в качестве дипольных вибраторов. В этом случае роль переотражения электромагнитных волн от поверхности уменьшается. Однако в работе того же автора [6], была выполнена работа по изучению наклона поверхности земного покрова на обратное отражение электромагнитного излучения VHF диапазона длин волн. Исследования были выполнены путем выполнения радиолокационных съемок лесных массивов на склонах холма, имеющих различный наклон (см.рис7). Автор в основу объяснения влияния наклона выполнена работа по изучению наклона поверхности земного покрова на обратное отражение электромагнитного излучения VHF диапазона длин волн. Исследования были выполнены путем выполнения радиолокационных съемок лесных массивов на склонах холма, имеющих различный наклон (см.рис7). Автор в основу объяснения влияния наклона земной поверхности на обратное отражение электромагнитных волн положил влияние переотражения электромагнитных волн от земной поверхности и соответственно математически обосновал это. При этом он опустил из виду свои же результаты экспериментов по радиолокационному зондированию лесных участков на берегах водоемов (отсутствие переотражения от водной поверхности). На склонах гор азимутальное распределение ветвей деревьев меняется. В то же время теоретическое рассмотрение на основе отражения электромагнитных волн от тонкого

диэлектрического цилиндра, по крайней мере для направлений, показанных на рис. 7г, является хорошим объяснением наблюдаемого эффекта.

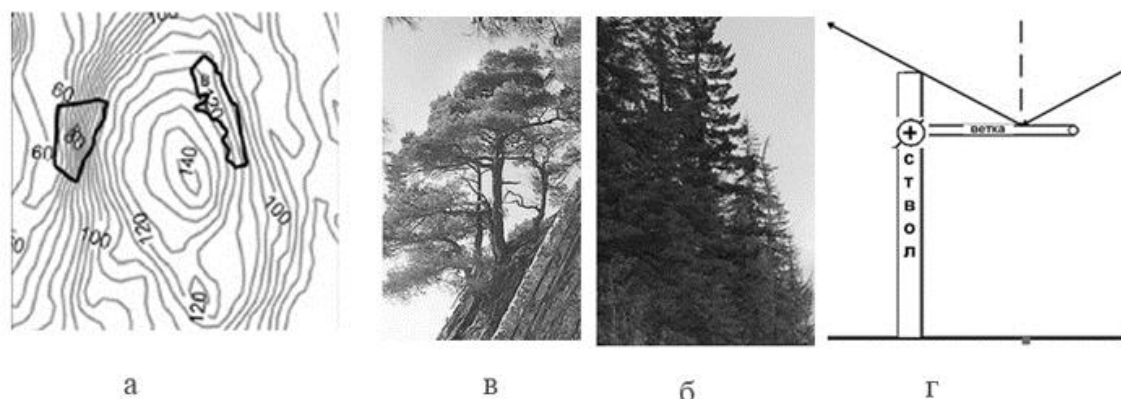


Рис.7. Эксперимент по радиолокационному зондированию лесных участков по изучению влияния наклона земной поверхности на величину обратного отражения: а) геометрия проведения эксперимента; в,б изменение азимутального распределения направления ветвей деревьев на склонах горных районов; г) влияние направления тонкого диэлектрического цилиндра на обратное отражение.

Изучение особенностей отражательных свойств сельскохозяйственного поля в окружении лесных массивов

Проведение изучения свойств поверхности Земли из космоса базируется на многократной повторяемости получения изображений выбранного участка местности с регулярностью, определяемой параметрами конкретной миссии космического аппарата. Такой подход к вопросу изучения свойств поверхности Земли позволяет анализировать динамику отражательных свойств как сезонно в течение года, так и нескольких лет подряд. Исследователи по своим соображениям выбирают удобные для себя районы для проведения экспериментов. В качестве района проведения для дистанционных исследований специалисты ИПЭ им.В.А.Котельникова РАН выбрали район в Московской и Рязанской областях. Эксперименты проводились как с использованием многочастотного поляриметрического комплекса «ИМАРК», так и с помощью японского радиолокатора PALSAR-1. Ниже представлены результаты радиолокационных съемок (рис.8). PCA «ИМАРК» и PCA «PALSAR-1». При анализе космических данных, полученных с японского спутника PALSAR (L – диапазон длин волн) в 2007 - 2011гг. на РЛИ рис.8а наблюдается пространственно распределенной цели площадью $\square 0.5 \text{ км}^2$, отражательная способность которой значительно выше, чем для прилегающих земных участков, в том числе и лесных. При этом отражательная способность данного участка имела как сезонную, так и годовую изменчивость. До этого самолетные эксперименты с помощью комплекса PCA не обнаруживали подобной аномалии отражательных свойств. Неожиданным оказалось и то, что данная цель соответствовала ровному сельскохозяйственному полю рис.9(б) как без растительности (осенью и зимой), так и в период активного роста (июнь). Одновременно с этим большой по размерам объект (см. рис. на краю поля на РЛИ не просматривался. В каждом отдельном случае при наблюдении особенности в отражательных свойства объекта приходится выполнять тщательные наземные исследования для объяснения наблюдаемого результата.

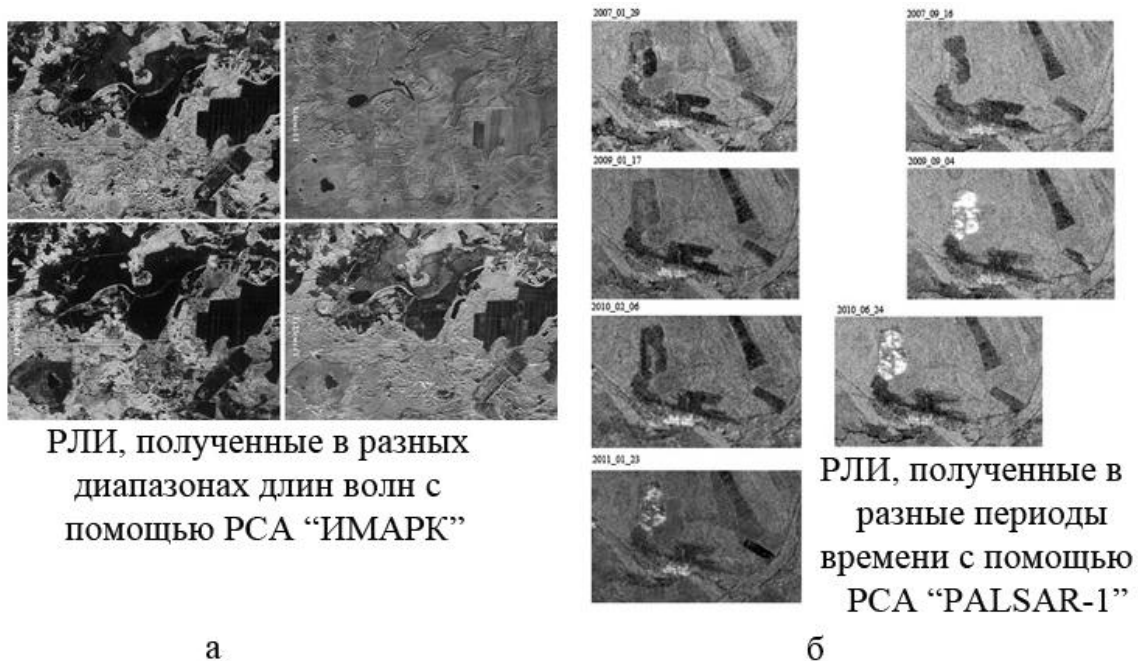


Рис.8. РЛИ участка земной поверхности в районе п.Калдеево Рязанской области, выполненные с помощью а) комплекса РСА «ИМАРК» и б) сезонные и годовые изменения отражательной способности выбранного участка с помощью РСА «PALSAR-1»



Рис.9. а) – фотоизображение исследуемого участка , б) ненаблюдаемый на РЛИ L диапазона объект

Несмотря на большой объем наземных исследований – измерение спектра влажности на участке $1 \times 1 \text{ м}^2$, измерение влажности по глубине до 1,5 м., проведение работ с использованием георадара найти объективных объяснений наблюдаемому эффекту не удалось, хотя имеются некоторые соображения для объяснения, но которые еще необходимо проверять.

Работа выполнена по гранту РФФИ грант №13-012065г.

Литература

1. «Сезонные вариации отражательных свойств естественных покровов по многолетним данным радиолокации в L-диапазоне», Л.Н.Захарова, А.И.Захаров, Материалы V-ой Всероссийской научной конференции «Сверширокополосные сигналы в радиолокации, связи, и акустике» Муром, 29.06-1.07.2015г. ISSN 2304-0297, стр.59-62
2. Polarization Signatures of Frozen and Thawed Forests of Varying Environment State R. Kwok, E. Rignot, J. Way, A. Freeman and J. Holt: IEEE Trans. on Geosci and. Remote Sens., Vol. 32, No. 2, pp. 371-381, 1994.
3. Seasonal variations of land cover polarimetric properties on ALOS PALSAR images L. Zakharova: Proceedings of European Conference on Synthetic Aperture Radar (EUSAR), Aachen, Germany, 7-10 June 2010., Vol. 1, pp.264-278, 2006
4. Уголев Б.Н. Дровесиноведение и лесное товароведение: Учебник для сред. Проф. Образования. – М.: Издательский центр «Академия», 2004. – 272 с.
5. Крамер П.Д, Козловский Т.Т. Физиология древесных растений// М.: Лесная пр-ть, 1983. – 462 с.
6. «Low VHF-Band Backscatter From Coniferous Forests on Sloping Terrain», Gary Smith-Jonforsen, Lars M. H. Ulander, *Member, IEEE*, and Xianyun Luo2246 IEEE Transaction on Geoscience and Remote sensing, vol.43,no.10, October 2005
7. Калинин А.А., Манаков В.Ю, Арманд Н.А., М.С.Крылова. О механизме обратного рассеяния электромагнитных волн сосновым лесом в метровом диапазоне длин волн.//Радиотехника и электроника Т.53 №10. 2008. – С. 1223–1235.